

⑨ 日本国特許庁 (JP) ⑩ 特許出願公開
⑪ 公開特許公報 (A) 平3-20635

⑫ Int.Cl.⁹
G 01 L 5/16

識別記号 庁内整理番号
7409-2F

⑬ 公開 平成3年(1991)1月29日

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全11頁)

⑭ 発明の名称 力検出装置

⑮ 特 願 平1-155032
⑯ 出 願 平1(1989)6月17日

⑰ 発明者 岡田 和廣 埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地
⑱ 出願人 株式会社ワコー 埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地
⑲ 代理人 弁理士志村 浩

明細書

1. 発明の名称

力検出装置

2. 特許請求の範囲

(1) 機械的変形によって電気抵抗が変化する性質をもち所定面上に形成された抵抗素子と、

前記抵抗素子に機械的変形を生じさせるための起亜体と、

を備え、前記抵抗素子形成面の中央付近に原点をとり、前記抵抗素子形成面がXY平面に含まれるようにXYZ三次元座標系を定義したときに、前記原点を作用点として、座標軸方向に作用する力あるいは座標軸回りに作用するモーメントを検出する力検出装置において、

前記抵抗素子形成面の前記原点の下方に位置し、作用する力を前記原点に伝える作用部と、

前記抵抗素子形成面の周囲を固定するための固定部と、

前記作用部と前記固定部との間に形成され、Z軸方向に対して十分な可動性をもった第1可搬部と、

前記作用部と前記固定部との間に形成され、Z軸に対して垂直な方向に対して十分な可動性をもった第2可搬部と、

によって前記起亜体を構成したことを特徴とする力検出装置。

(2) 機械的変形によって電気抵抗が変化する性質をもつ抵抗素子が上面に形成された基板と、前記基板に機械的変形を生じさせるために、前記基板の下面に接続された起亜体と、

を備え、前記基板上面の中央付近に原点をとり、前記基板上面がXY平面に含まれるようにXYZ三次元座標系を定義したときに、前記原点を作用点として、座標軸方向に作用する力あるいは座標軸回りに作用するモーメントを検出する力検出装置において、

前記基板の前記原点の下方位置に接続され、作用する力を前記原点に伝える作用部と、

前記基板の周囲を固定するための固定部と、
前記作用部と前記固定部との間に形成され、Z
軸方向に対して十分な可挠性をもった第1可挠部
と、

前記作用部と前記固定部との間に形成され、Z
軸に対して垂直な方向に対して十分な可挠性をも
った第2可挠部と、

によって前記起亜体を構成したことを特徴とする
力検出装置。

(3) 請求項2に記載の力検出装置において、
Z軸に対してほぼ垂直な面に沿って延び、Z軸
方向についての厚みが小さく、Z軸の周囲を取り
囲むように設けられた環状平板部によって、第1
可挠部を構成したことを特徴とする力検出装置。

(4) 請求項2に記載の力検出装置において、
Z軸に対してほぼ平行な面に沿って延び、Z軸
に対して垂直な方向についての厚みが小さく、Z
軸の周囲を取り囲むように設けられた筒状部によ
って、第2可挠部を構成したことを特徴とする力
検出装置。

抗値の変化を電気的に検出するのである。たとえ
ば、特開昭63-266329号公報には、X-Y
平面上に広がった基板上の、X軸方向およびY軸
方向に沿った所定位置に、複数の抵抗素子を形成
し、これら抵抗素子を特有のブリッジ回路に組む
ことにより、各軸方向に作用した力および各軸回
りに作用したモーメントを、ブリッジ電圧の変化
として検出できる技術が開示されている。また、
特願平1-23121号明細書には、より正確な
測定が可能な抵抗素子の配置が開示されている。

[発明が解決しようとする課題]

前述の力検出装置では、原点を作用点として、
X軸方向の力F_x、Y軸方向の力F_y、Z軸方向
の力F_z、そしてX軸回りのモーメントM_x、Y
軸回りのモーメントM_y、Z軸回りのモーメント
M_z、の6つの成分を検出することができる。と
ころが、従来の装置には、この各成分の感度に著
しい相違が生じるという問題点がある。たとえば、
前述の特開昭63-266329号公報に開示さ
れた装置、あるいは前述の特願平1-23121

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は力検出装置、特にXYZ三次元座標系
において、原点を作用点として各軸方向に作用す
る力および各軸回りに作用するモーメントを検出
する力検出装置に関する。

[従来の技術]

一般に、ある作用点に働く力を検出する装置は、
この力の作用によって生じる応力歪みを検出する
ことによって間接的に力の検出を行っている。応
力歪みの検出は、力の作用によって応力歪みを生
じる起亜体の各部にストレーンゲージなどの検出
器を設け、この検出器の抵抗値などの変化を測定
することによって行われている。

最近では、機械的変形によって電気抵抗が変化
するというピエゾ抵抗効果の性質を備えた抵抗素
子を、半導体基板上に配列し、この抵抗素子の抵
抗値の変化から力を検出する技術も提案されてい
る。力の作用によって半導体基板上に機械的な歪
みを起こさせ、これによって生じる抵抗素子の抵

抗値の変化を電気的に検出するのである。たとえ
ば、特開昭63-266329号公報には、X-Y
平面上に広がった基板上の、X軸方向およびY軸
方向に沿った所定位置に、複数の抵抗素子を形成
し、これら抵抗素子を特有のブリッジ回路に組む
ことにより、各軸方向に作用した力および各軸回
りに作用したモーメントを、ブリッジ電圧の変化
として検出できる技術が開示されている。また、
特願平1-23121号明細書には、より正確な
測定が可能な抵抗素子の配置が開示されている。

そこで本発明は、各方向成分についての検出感
度ができるだけ均一になるような力検出装置を提
供することを目的とする。

[課題を解決するための手段]

(1) 本願第1の発明は、
機械的変形によって電気抵抗が変化する性質を
もち所定面上に形成された抵抗素子と、
この抵抗素子に機械的変形を生じさせるための

起歪体と、

を備え、抵抗素子形成面の中央付近に原点を取り、抵抗素子形成面がXY平面に含まれるようにXYZ三次元座標系を定義したときに、原点を作用点として、座標軸方向に作用する力あるいは座標軸回りに作用するモーメントを検出する力検出装置において、

抵抗素子形成面の原点の下方に位置し、作用する力を原点に伝える作用部と、

抵抗素子形成面の周囲を固定するための固定部と、

作用部と固定部との間に形成され、Z軸方向にに対して十分な可撓性をもった第1可撓部と

作用部と固定部との間に形成され、Z軸に対して垂直な方向に対して十分な可撓性をもった第2可撓部と、

によって起歪体を構成したものである。

(2) 本願第2の発明は、

機械的変形によって電気抵抗が変化する性質をもつ抵抗素子が上面に形成された基板と、

囲むように設けられた塊状平板部によって、第1可撓部を構成したものである。

(4) 本願第4の発明は、上述の第2の発明に係る力検出装置において、

Z軸に対してほぼ平行な面に沿って延び、Z軸に対して垂直な方向についての厚みが小さく、Z軸の周囲を取り囲むように設けられた筒状部によって、第2可撓部を構成したものである。

【作用】

本発明によれば、起歪体に第1可撓部と第2可撓部とが形成される。第1可撓部はZ軸方向に対して十分な可撓性をもっているため、作用部にZ軸方向の力が作用した場合、この第1可撓部の撓みによってZ軸方向の機械的変形が抵抗素子に十分に伝達される。また、第2の可撓部はZ軸に対して垂直な方向に対して十分な可撓性をもっているため、作用部にX軸方向あるいはY軸方向の力が作用した場合、この第2可撓部の撓みによってX軸方向あるいはY軸方向の機械的変形が抵抗素子に十分に伝達される。結局、X、Y、Zのいず

この基板に機械的変形を生じさせるために、基板の下面に接続された起歪体と、

を備え、基板上面の中央付近に原点を取り、基板上面がXY平面に含まれるようにXYZ三次元座標系を定義したときに、原点を作用点として、座標軸方向に作用する力あるいは座標軸回りに作用するモーメントを検出する力検出装置において、

基板の原点の下方位置に接続され、作用する力を原点に伝える作用部と、

基板の周囲を固定するための固定部と、

作用部と固定部との間に形成され、Z軸方向にに対して十分な可撓性をもった第1可撓部と、

作用部と固定部との間に形成され、Z軸に対して垂直な方向に対して十分な可撓性をもった第2可撓部と、

によって起歪体を構成したものである。

(3) 本願第3の発明は、上述の第2の発明に係る力検出装置において、

Z軸に対してほぼ垂直な面に沿って延び、Z軸方向についての厚みが小さく、Z軸の周囲を取り

れの方向成分の力に対してもほぼ均等な検出感度が得られる。

【実施例】

装置の全体構成

以下本発明を図示する実施例に基づいて詳述する。第1図は本発明の一実施例に係る力検出装置の側断面図、第2図は同装置の上面図である。この装置は、大きく分けて、半導体基板10と起歪体20との2つの構成要素からなる。実際の製品としては、この他に半導体基板10の上面を保護するためのカバー、装置を収容する筐体、電気的な配線などの要素が必要になるが、ここでは便宜上、これらの付属品についての説明は省略する。半導体基板10の上面の中央部に作用点Pを定義し、この作用点Pを原点としてXYZ三次元座標系を図のように定義する。半導体基板10の上面がちょうどXY平面内に含まれることになる。第2図に示す装置をX軸に沿って切った断面図が第1図の側断面図に相当する。半導体基板10の構造をより明瞭にするために、第2図に示す装置を

特開平3-20635 (4)

切断線 A-A に沿って切った側断面図を第3図に示す。また、起亜体 20 の構造をより明瞭にするために、起亜体 20 だけの上面図を第4図に示す。

半導体基板の構成

はじめに、半導体基板 10 の構造を説明する。半導体基板 10 は、この実施例ではシリコンのウエハを正方形に切断したものであり、4か所に四分円状の貫通孔 15 が設けられ、その結果、4本の架橋部 11~14 が形成されている。この架橋部 11~14 のそれぞれには、6か所に抵抗素子群 R が形成されている。第2図に示すように、この抵抗素子群 R は合計 24 か所に形成されることになる。第5図は、この 24 か所に形成された抵抗素子群 R を示す拡大上面図である。ここでは、R1~R24 と符号を付して示している。この各抵抗素子群 R1~R24 は、それぞれが複数の抵抗素子で構成されている。第5図に示す各抵抗素子群の位置は、その抵抗素子群に所属する抵抗素子が分布する領域を示しているにすぎない。たとえば、抵抗素子群 R8 は、第6図に示すように、

4つの抵抗素子 r1~r4 によって構成されており、この抵抗素子 r1~r4 が、第5図において R8 と記された領域に分布していることになる。各抵抗素子は、半導体基板 10 上に不純物を拡散することによって形成されており、機械的変形によって電気抵抗が変化するピエゾ抵抗効果をもつ抵抗素子である。

この装置を力検出装置として用いるには、上述のように配された 24 組の抵抗素子群を用いて、第7図(a)~(f) に示すようならおりのブリッジを形成する。各ブリッジにはそれぞれ電源 30 が接続されるとともに、作用点 P に加えられた X 軸方向の力 Fx、Y 軸方向の力 Fy、Z 軸方向の力 Fz、そして X 軸回りのモーメント Mx、Y 軸回りのモーメント My、Z 軸回りのモーメント Mz、の 6 つの力成分を示す電圧値 VFx、VFn、VFz、VMx、VMy、VMz を検出する電圧計 41~46 が接続されている。なお、このブリッジ回路図で示されている各抵抗素子の記号は、その抵抗素子群の中の 1 つの抵抗素子を

意味しており、同一記号が付されている抵抗素子であってもそれらは同一の抵抗素子群に属する別な抵抗素子を意味するものとする。たとえば、第7図の回路図中、R8 と記された抵抗素子は同図(c) に 2 か所、同図(e) に 2 か所、合計で 4 か所に用いられているが、これらはそれぞれ第6図に示す 4 つの抵抗素子 r1~r4 を用いており、互いに電気的に独立した別な抵抗素子である。ここでは、説明の便宜上、抵抗素子群 Rx (X=1~24) に属する 1 抵抗素子を示すのに、同一記号 Rx を用いた。

結局、第5図に示すように抵抗素子群を配置し、第7図に示すようなブリッジ回路を形成すると、作用点 P に加わる 3 軸方向の力および 3 軸回りのモーメントという 6 成分の検出が可能になる。この検出原理については、本願の本旨ではないため、ここでは説明を省略する。詳細は特開平1-23121号明細書を参照されたい。なお、抵抗素子の配置は、ここに述べたものに限定されるわけではなく、たとえば特開昭63-266329号公

報に開示された配置や、その他の配置を探ってもかまわない。

起亜体の構成

それでは、本願発明の本旨となる起亜体 20 の構造について説明する。この起亜体 20 の構造は第3図の側断面図および第4図の上面図を参照するとよくわかる。全体はほぼ円盤状をしている。中央の作用部 21 は下方に突出しており、実際には、この作用部 21 の下端に外力を加えることによって力検出を行うことになる。作用部 21 の上端は半導体基板 10 の下面に接着されている。一方、周囲の固定部 22 は、通常は、装置を収容する筐体に固定される。固定部 22 の上面は半導体基板 10 の下面に接着されている。作用部 21 と固定部 22 との間に、環状平板部 23 および筒状部 24 が設けられている。環状平板部 23 は、ワッシャのような形状をした部分であり、XY 平面上に沿って延び、肉厚が薄く、Z 軸の周囲を取り囲むような位置に設けられている。筒状部 24 は Z 軸を中心軸とする円筒形をしており、肉厚が薄

くできている。この筒状部24を形成したため、起亜体20の上面には環状溝25が形成されることになる。このように起亜体20は、中心から周囲に向かって順に、作用部21、環状平板部23、筒状部24、固定部22、の各部より構成されるが、これらの各部は別々の部品ではなく、一体構成された起亜体の一部分をなすものである。なお、起亜体20の材質としてはコバルト(鉄、コバルト、ニッケルの合金)を用いるのが好ましい。この起亜体20の固定部22を固定しておき、作用部21に外力を作用させると、環状平板部23および筒状部24に撓みが生じ、起亜体自身が変形することになる。この変形は半導体基板10に伝達され、この変形に対応した力が検出されることになる。

前述のように、この装置は作用点Pについての3軸方向の力および3軸回りのモーメントを検出することができるが、起亜体20の役割は作用部21の下端に加えられた力を作用点Pに伝達し、作用点Pに3軸方向の変位、3軸回りの回転歪み

を生じさせることにある。このとき、この変位や歪みの生じやすさが各軸ごとに異なると、検出感度が各軸ごとに異なる結果となる。上述の構造をもった起亜体を用いると、各軸についての変位や歪みの生じやすさをほぼ均等にすることができる。この理由を以下に説明する。

第8図は、作用点PにX軸方向の力F_xが作用した場合の起亜体20の変形状態を示す側断面図である。このような変形は、作用部21に図のような力Fを加えることによって得られる。この場合、筒状部24が図のように撓んで起亜体20が機械的に変形し、この変形が半導体基板10に伝達される。筒状部24は肉厚が薄くできているため、X軸方向には容易に撓むことができる。したがって、力F_xに対してこの装置は十分な検出感度をもつことになる。なお、Y軸方向の力F_yが作用した場合も全く同様であり、力F_yに対しても十分な検出感度をもつ。

第9図は、作用点PにZ軸方向の力F_zが作用した場合の起亜体20の変形状態を示す側断面図

である。このような変形は、作用部21に図のような力Fを加えることによって得られる。この場合、環状平板部23が図のように撓んで起亜体20が機械的に変形し、この変形が半導体基板10に伝達される。環状平板部23は肉厚が薄くできているため、Z軸方向には容易に撓むことができる。したがって、力F_zに対してこの装置は十分な検出感度をもつことになる。

第10図は、作用点PにY軸回りのモーメントM_yが作用した場合の起亜体20および半導体基板10の変形状態を示す上面図である。このような変形は、作用部21の底部に図のような力Fを加えることによって得られる。この場合、環状平板部23が図のように撓んで起亜体20が機械的に変形し、この変形が半導体基板10に伝達される。環状平板部23は肉厚が薄くできているため、このような方向に容易に撓むことができるのである。したがって、モーメントM_yに対してこの装置は十分な検出感度をもつことになる。なお、X軸回りのモーメントM_xが作用した場合も全く同

様であり、モーメントM_xに対してても十分な検出感度をもつ。

第11図は、作用点PにZ軸回りのモーメントM_zが作用した場合の起亜体20および半導体基板10の変形状態を示す上面図である。このような変形は、作用部21をZ軸まわりにひねるような力を加えることによって得られる。この場合、筒状部24がねじれるような方向に撓んで起亜体20が機械的に変形し、この変形が半導体基板10に伝達される。筒状部24は肉厚が薄くできているため、このようなねじれる方向に容易に撓むことができるのである。したがって、モーメントM_zに対してこの装置は十分な検出感度をもつことになる。

要するに、ここに示す起亜体20は、Z軸方向に対して十分な可撓性をもった第1可撓部として環状平板部23を、Z軸に対して垂直な方向に対して十分な可撓性をもった第2可撓部として筒状部24を、それぞれ設けるようにしたため、いずれの軸方向の力が作用しても、いずれの軸回りの

モーメントが作用しても、起亜体は十分に変形することができる。したがってこの力検出装置では、各軸についてほぼ均一な検出感度が得られるようになる。

他の実施例

第12図に本発明の別な実施例に係る力検出装置の側断面図を示す。この装置の起亜体20には、24aと24bとの2つの筒状部が設けられており、この点が前述の実施例と異なる。このため、環状溝も25aと25bとの2つが形成されることになる。第13図および第14図はこの装置にX軸方向の力F_xを作用させたときの変形状態を示す側断面図および上面図である。2つの筒状部24a、24bの両方が挿むために、より変形がしやすくなっている。変形により、第14図に+印で示した箇所は伸び、-印で示した箇所は縮むことになる。この伸び、縮みの最も顕著な位置が環状溝の真上の位置となる。したがって、抵抗素子Rはそれぞれ環状溝25aおよび25bの真上に形成するのが、感度を向上させるために好まし

い。

第15図に側断面図、第16図に上面図を示す実施例は、第12図に示す実施例と起亜体20の構造は同じであるが、各環状溝上に24組ずつの抵抗素子群を配し、合計で48組の抵抗素子群を設けたものである。これにより一層精度の高い力検出が可能になる。

第17図および第18図に側断面図を示す実施例は、環状平板部を23aと23bとの2か所に設けたものである。

第19図に側断面図、第20図に上面図を示す実施例は、2つの筒状部24aと24bとを有し、その間に形成された環状溝25上にすべての抵抗素子群を配したものである。

第21図に側断面図、第22図に上面図を示す実施例は、作用部21の近傍に形成された環状溝25上にすべての抵抗素子群を配したものである。

第23図に側断面図、第24図に上面図を示す実施例は、環状溝25上に24組の抵抗素子群を配し、環状平板部23上に別な24組の抵抗素子

群を配したものである。

第25図に半導体基板10の種々の実施例を示す。同図(a)は今まで述べてきた実施例に用いられた半導体基板10であり、四分円状の貫通孔15が4か所に形成されている。同図(b)は「L」字状の貫通孔15'を4か所に形成したものである。貫通孔をエッチングによって形成する場合は、円形の貫通孔は形成が困難であるため、同図(a)に示すものより同図(b)に示すものの方が実用的である。特にシリコンの面方位(100)の基板では、同図(b)に示す形狀の貫通孔を容易に形成することができる。同図(c)は「ハ」の字状の貫通孔15"を4か所に形成したものであり、その利点は基板上での配線が効率的に行える点である。たとえば、図のA点からB点へ配線を行う場合、図の一点鎖線で示すように、最短距離の配線を行うことができる。

上述の実施例では、いずれも半導体基板10に第26図(a)に示すような貫通孔15を形成していたが、同図(b)に示すような溝16を形成する

ようにしてもかまわない。同図(a)のように貫通孔15を形成した場合は、半導体基板10を起亜体20に接着する場合に、この貫通孔15を通って接着剤が基板10の表面に浸透してくるため、適当な治具でこの貫通孔15を塞いだ状態で接着を行う必要がある。これに対し、同図(b)に示すような溝16を形成した場合は、接着剤の浸透は起こらないという利点がある。ただし、溝16の底部17の厚みがある程度厚い場合は、そのままでは半導体基板10の変形が阻害されるため、起亜体20に接着した後に、この底部17をエッチングなどの化学的方法、あるいは打ち抜きなどの機械的方法によって除去するのが好ましい。

上述の実施例では、いずれも抵抗素子を半導体基板上に形成していたが、本発明はこのような半導体基板を用いる力検出装置だけに限定されるものではない。例えばストレーンゲージを抵抗素子として用いた装置にも適用可能である。第27図に側断面図を示す実施例は、第1図に示す実施例と同じ構造の起亜体20の上面にストレーンゲー

ジSを直接貼り付けたものである。複数のストレーンゲージSの配置およびブリッジ回路構成は、第1図に示す実施例と同様である。第28図に側断面図を示す実施例は、第19図に示す実施例と同じ構造の起歪体20の上面に、平板10'を接着し、この平板10'の上面にストレーンゲージSを貼り付けたものである。複数のストレーンゲージSの配置およびブリッジ回路構成は、第19図に示す実施例と同様である。このようにストレーンゲージSを抵抗素子として用いる装置では、半導体基板を用いる必要はない。起歪体20あるいは平板10'の材質としては、半導体基板との整合性を考慮する必要がないため、ごく一般的な金属を用いれば十分である。この実施例では、起歪体20および平板10'として高力アルミニウムを用いており、両者間はろうづけされている。これらにストレーンゲージSを貼り付けるには、フェノール系あるいはエポキシ系の接着剤を用いている。

〔発明の効果〕

以上のとおり本発明の力検出装置によれば、起歪体に、Z軸方向に対して十分な可撓性をもった第1可撓部と、Z軸に対して垂直な方向に対して十分な可撓性をもった第2可撓部とを、それぞれ設けるようにしたため、いずれの軸方向の力が作用しても、いずれの軸回りのモーメントが作用しても、起歪体は十分に変形することができ、各軸についてほぼ均一な検出感度が得られるようになる。

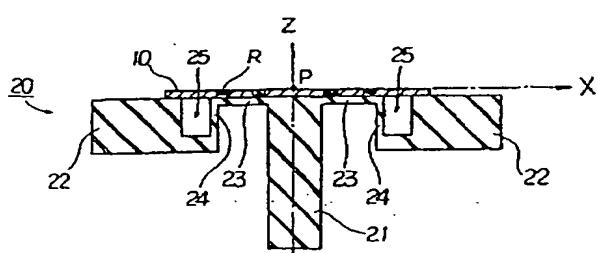
4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例に係る力検出装置の側断面図、第2図は第1図に示す装置の上面図、第3図は第2図に示す装置を切断線A-Aで切った側断面図、第4図は第1図に示す装置に用いられている起歪体の上面図、第5図は第1図に示す装置の抵抗素子群の配置を示す部分拡大図、第6図は1抵抗素子群を構成する抵抗素子を示す図、第7図は第1図に示す装置の抵抗素子について形

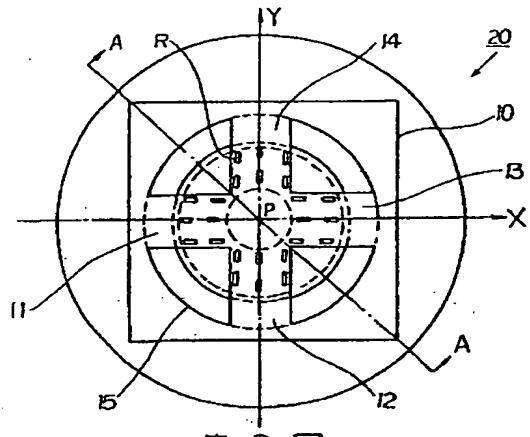
成されるブリッジ回路図、第8図は第1図に示す装置にX軸方向の力F_xが作用した状態を示す側断面図、第9図は第1図に示す装置にZ軸方向の力F_zが作用した状態を示す側断面図、第10図は第1図に示す装置にY軸まわりのモーメントM_yが作用した状態を示す側断面図、第11図は第1図に示す装置にZ軸まわりのモーメントM_z^上が作用した状態を示す側断面図、第12図は本発明の別な実施例に係る力検出装置の側断面図、第13図は第12図に示す装置にX軸方向の力F_xが作用した状態を示す側断面図、第14図は第12図に示す装置にX軸方向の力F_xが作用した状態を示す上面図、第15図および第16図は本発明の別な実施例に係る力検出装置の側断面図および上面図、第17図および第18図はそれぞれ本発明の別な実施例に係る力検出装置の側断面図、第19図および第20図は本発明の別な実施例に係る力検出装置の側断面図および上面図、第21図および第22図は本発明の別な実施例に係る力検出装置の側断面図および上面図、第23図およ

び第24図は本発明の別な実施例に係る力検出装置の側断面図および上面図、第25図は本発明に用いる半導体基板の別な実施例を示す上面図、第26図は本発明に用いる半導体基板に形成する貫通孔および溝を示す側断面図、第27図および第28図は抵抗素子としてストレーンゲージを用いた本発明の実施例を示す側断面図である。

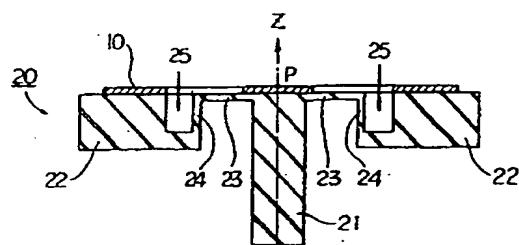
10…半導体基板、10'…平板、11~14…架橋部、15…貫通孔、16…溝、17…底部、20…起歪体、21…作用部、22…固定部、23…環状平板部、24…筒状部、25…環状溝、30…電源、41~46…電圧計、P…作用点、R1~R24…抵抗素子群、r1~r4…抵抗素子、S…ストレーンゲージ。



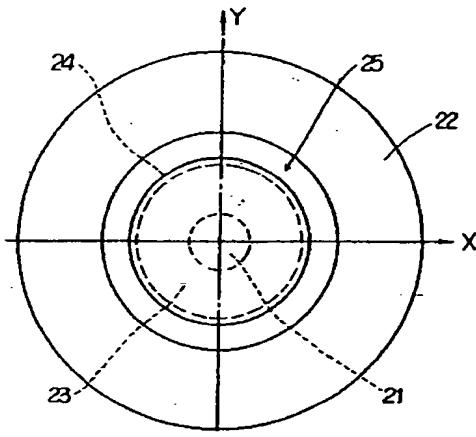
第1図



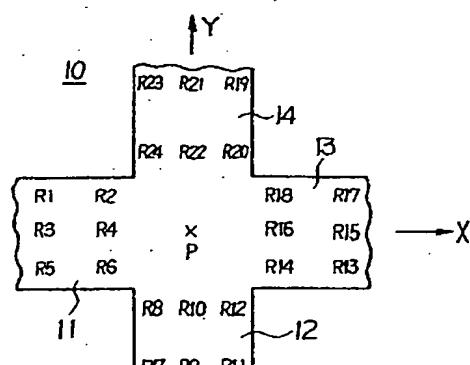
第2図



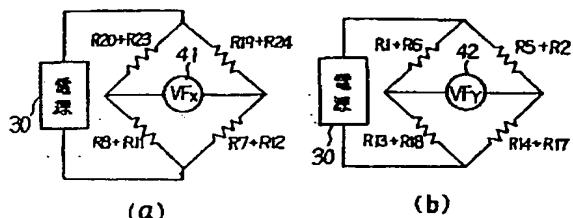
第3図



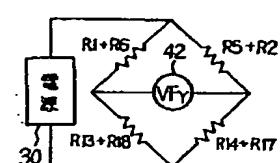
第4図



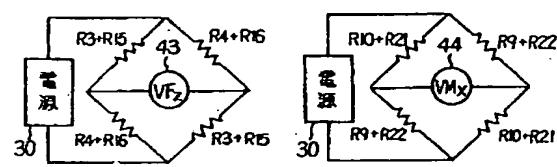
第5図



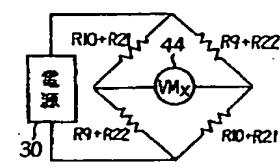
(a)



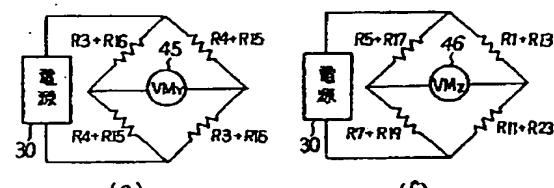
(b)



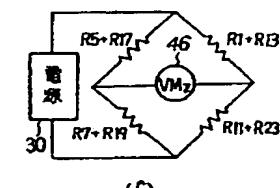
(c)



(d)



(e)

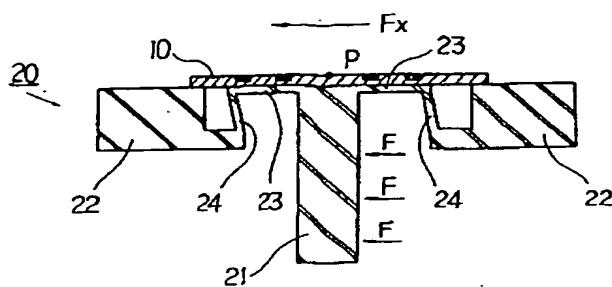


(f)

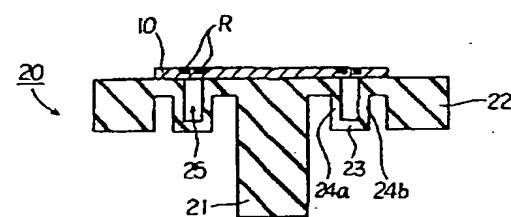
第7図



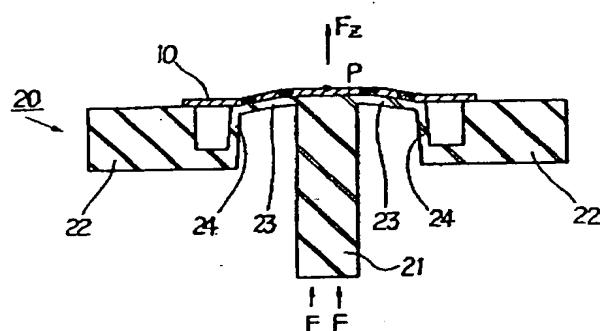
第6図



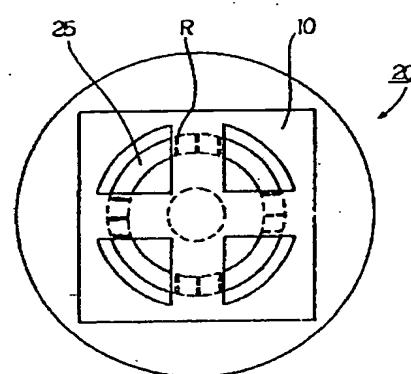
第 8 図



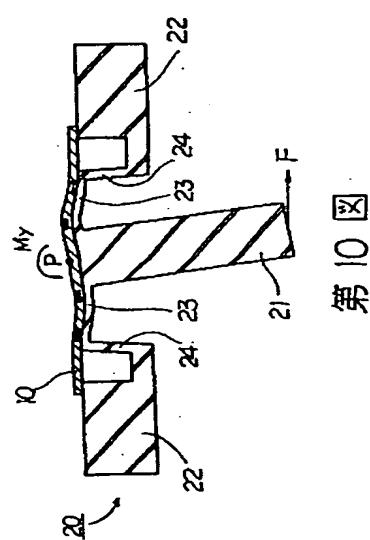
第 19 図



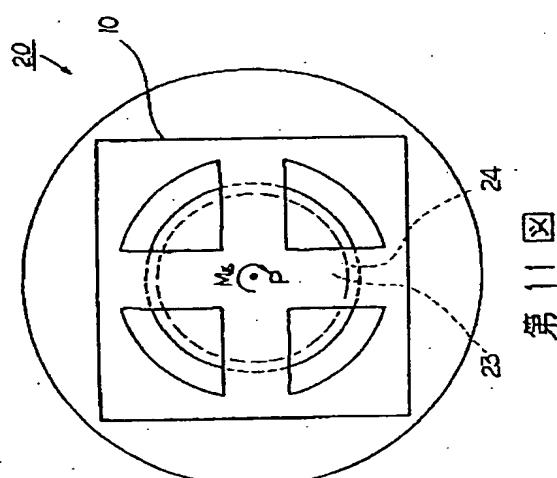
第 9 図



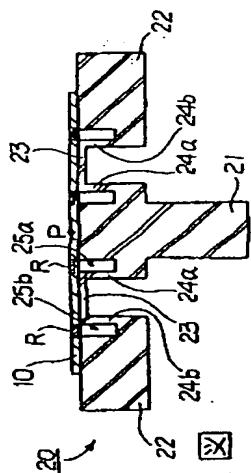
第 20 図



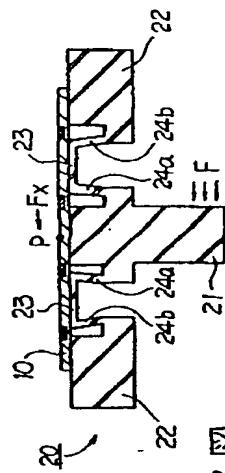
第 10 図



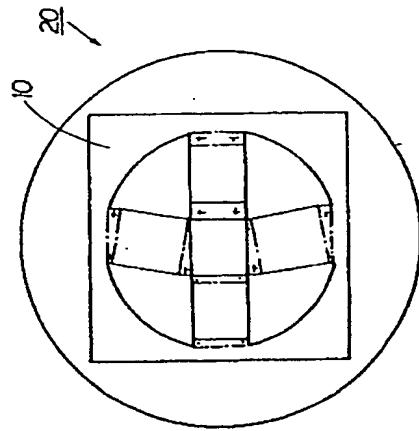
第 11 図



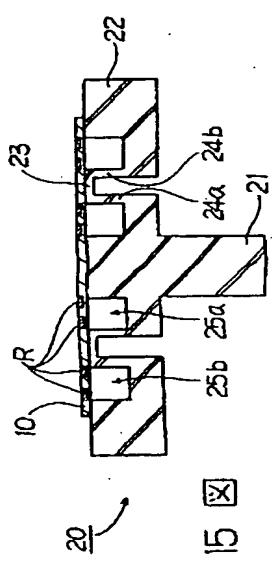
第12図



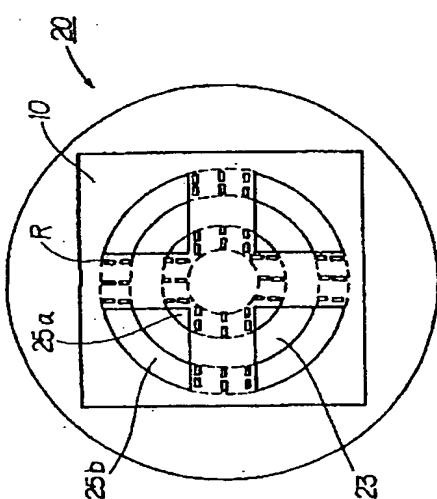
第13図



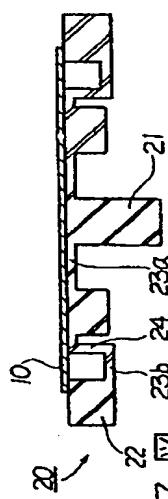
第14図



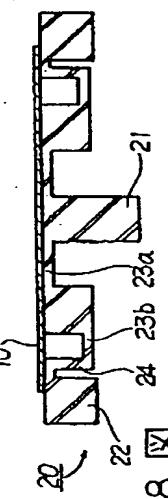
第15図



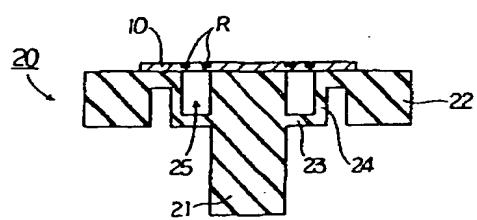
第16図



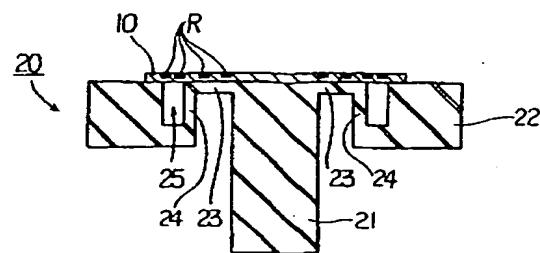
第17図



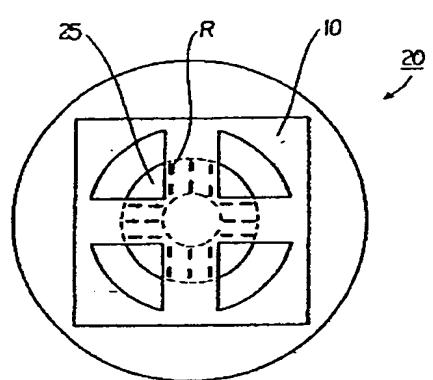
第18図



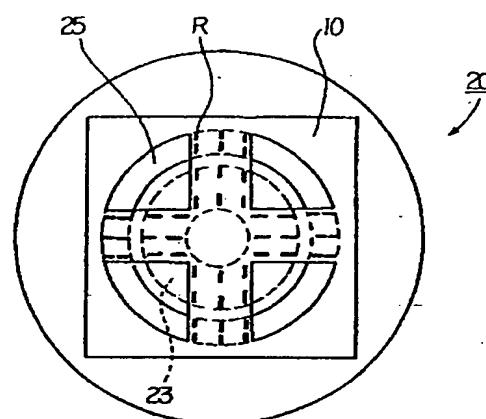
第 21 図



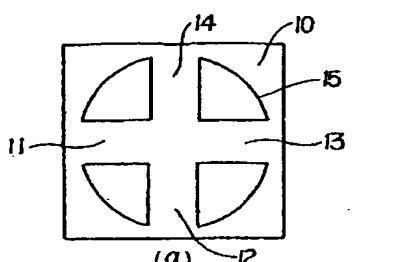
第 23 図



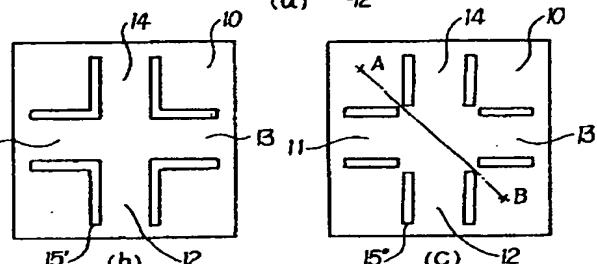
第 22 図



第 24 図



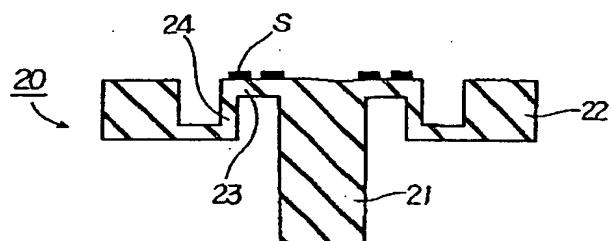
(a)



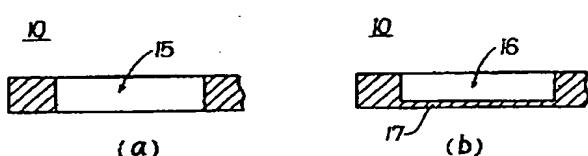
(b)

(c)

第 25 図



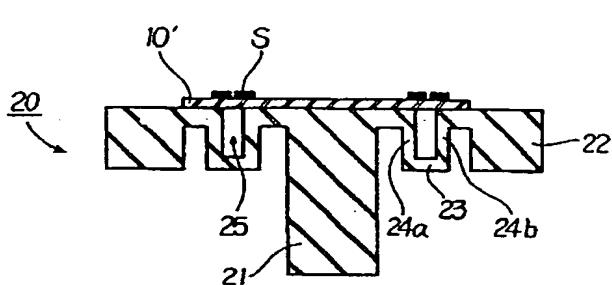
第 27 図



(a)

(b)

第 26 図



第 28 図